

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

84/1273
12 Patentschrift
11 DE 2308103 C2

51 Int. Cl. 4:
H04B 3/04

21 Aktenzeichen: P 23 08 103.0-32
22 Anmeldetag: 19. 2. 73
43 Offenlegungstag: 27. 9. 73
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 22. 8. 85

DE 2308103 C2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

30 Unionspriorität: 32 33 31
22.02.72 US 227742

73 Patentinhaber:
Western Electric Co., Inc., New York, N.Y., US

74 Vertreter:
Blumbach, P., Dipl.-Ing., 6200 Wiesbaden; Weser,
W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 8000 München; Zwirner,
G., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing., Pat.-Anw., 6200
Wiesbaden

72 Erfinder:
Kurth, Carl Ferdinand, Andover, Mass., US

56 Im Prüfungsverfahren entgegengehaltene
Druckschriften nach § 44 PatG:

US 36 33 129
US 35 73 667

US-Z.: »Bell System Technical Journal«, Bd.48, 1969,
S.821-839 und S.889-952;

54 Automatisch einstellbare Entzerrungseinrichtung

DE 2308103 C2

Patentansprüche:

1. Automatisch einstellbare Entzerrungseinrichtung, bei der ein Entzerrer (10) mehrere in Reihe geschaltete Entzerreraabschnitte (10-1 bis 10-n) aufweist und ein zugeführtes Testsignal, das ein verzerrendes Medium (8) durchlaufen hat, empfängt, wobei jeder einstellbare Entzerreraabschnitt eine Frequenzgangfunktion aufweist, deren Größe über einen zugeordneten Frequenzbereich durch den Pegel eines Einstellsignals (ρ_1 bis ρ_n) gesteuert wird, mit einer ein Ausgangssignal abgebenden Fehlererkennungsschaltung (16), der ein Ausgangssignal des Entzerrers (10) und ein Referenzsignal (V_k) zugeführt sind, mit einer für jeden Entzerreraabschnitt (10-1 bis 10-n) vorhandenen Detektoreinrichtung (22-0, 22-1, 24-1, 26-1, 28-1 usw.), deren Ausgangssignal in Verbindung mit dem Ausgangssignal der Fehlererkennungsschaltung (16) zur Beeinflussung der Größe der Frequenzgangfunktion jedes Entzerreraabschnitts (10-1 bis 10-n) durch Bestimmung der Einstellsignale (ρ_1 bis ρ_n) dient, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- a) die Fehlererkennungsschaltung (16) gibt n Ausgangssignale (ϵ_1 bis ϵ_n) ab, die je für einen einem Entzerreraabschnitt (10-1 bis 10-n) zugeordneten Frequenzbereich abgeleitet sind;
- b) die Eingangssignale der Detektoreinrichtungen (22-0, 22-1, 24-1, 26-1, 28-1 usw.) sind durch Vergleich der jeweiligen Ein- und Ausgangssignale ($V_0, V_1; V_1, V_2; \dots V_{n-1}, V_n$) der zugehörigen Entzerreraabschnitte (10-1 bis 10-n) ermittelt;
- c) die Ausgangssignale (ϵ_1 bis ϵ_n) der Fehlererkennungsschaltung (16) und der Detektoreinrichtungen (22-0, 22-1, 24-1, 26-1, 28-1 usw.) sind einer Verarbeitungsschaltung (20) zugeführt, die unter Verknüpfung dieser Ausgangssignale die Einstellsignale (ρ_1 bis ρ_n) für die Entzerreraabschnitte (10-1 bis 10-n) so erzeugt, daß die resultierende Verzerrung minimal ist.

2. Automatische Entzerrungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das zugeführte Signal ein Kippsignal von vorgegebener konstanter Größe ist, das sich frequenzmäßig von einem Ende des Entzerrer-Arbeitsfrequenzbandes zum anderen ändert.

3. Automatische Entzerrungseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektoreinrichtungen für jeden Entzerreraabschnitt enthalten:

- a) zwei Erkennerschaltungen (22-0, 22-1; 22-1, 22-2; ... 22(n-1), 22-n), die mit dem Ein- bzw. Ausgang des zugehörigen Entzerreraabschnitts (10-1 bis 10-n) verbunden sind;
- b) eine Vergleichsschaltung (24-1 bis 24-n), die eingangsseitig an die Ausgänge der zugehörigen Erkennerschaltungen (22-0, 22-1; 22-1, 22-2; ... 22(n-1), 22-n) angeschlossen ist und deren Ausgangssignal proportional zur Differenz ihrer Eingangssignale ist;
- c) einen Multiplizierer (26-1 bis 26-n), der mit dem Ausgang der Vergleichsschaltung (24-1 bis 24-n) verbunden ist und ein Ausgangssignal abgibt, das proportional zum Ausgangssignal der zugeordneten Vergleicherschaltung (24-1 bis 24-n), dividiert durch einen Faktor proportional zum Pegel des zugeordneten Einstellsignals (ρ_1 bis ρ_n) ist;
- d) eine Integratorschaltung (28-1 bis 28-n), die mit dem Multiplizierer (26-1 bis 26-n) verbunden ist und ein Ausgangssignal abgibt, das proportional zum Ausgangssignal des Multiplizierers integriert über den zugeordneten Frequenzbereich ist.

4. Automatische Entzerrungseinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die an einen Verbindungspunkt (V_1 bis V_{n-1}) zwischen zwei Entzerreraabschnitten (10-1 bis 10-n) angeschalteten Erkennerschaltungen (22-1, 22-2 ... 22-(n-1)) zu je zwei benachbarten Detektoreinrichtungen gehören.

5. Automatische Entzerrungseinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Verarbeitungsschaltung ein Prozessor (20) ist, der die ihm zugeführten Ausgangssignale (ϵ_1 bis ϵ_n) der Fehlererkennungsschaltung (16) und der Detektoreinrichtung (22-0, 22-1, 24-1, 26-1, 28-1 usw.) auf folgende Weise verknüpft:

$$\epsilon_i = x_i + \sum_{\mu=1}^n b_{i\mu} \rho_{\mu},$$

wobei bedeuten:

- x_i ist die Signalverzerrung, integriert oder gemittelt über den Frequenzbereich i ;
- $b_{i\mu}$ ist die normierte Frequenzgangfunktion F_{μ} des Entzerreraabschnitts μ , integriert oder gemittelt über den Frequenzbereich i ;
- ρ_{μ} ist das Einstellsignal für den Entzerreraabschnitt μ ;

i und μ liegen zwischen 1 und n , wobei n die Anzahl der Entzerreraabschnitte ist.

Die Erfindung betrifft eine automatisch einstellbare Entzerrungseinrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, wie sie aus der US-PS 35 73 667 bekannt ist.

Bei der Übertragung von Signalen über weite Entfernungen müssen sorgfältige Vorkehrungen getroffen werden, um eine unzulässige Verzerrung der übertragenen Signale zu vermeiden. Die verschiedenen Arten von Verstärkungs- und Entzerrungseinrichtungen, die hierfür in einem derartigen System vorhanden sind, sind in einer Reihe von Aufsätzen in Band 48, Nr. 4, April 1969, der Zeitschrift »Bell System Technical Journal« beschrieben. Wie im ersten Aufsatz dieser Artikelserie (S. 821—839) angegeben ist, verwendet man üblicherweise eine Hierarchie von Entzerrereinrichtungen. Diese reichen von relativ einfachen, dicht beieinander angeordneten, festen Verstärkern bis zu sehr komplizierten, weil auseinander liegenden, einstellbaren Entzerrern. 5

Der Sinn eines einstellbaren Entzerrers in einem solchen System besteht darin, daß der Abschnitt der Übertragungsleitung, in dem der Entzerrer (einschließlich aller Zwischenverstärker und Entzerrer) arbeitet, den gewünschten Frequenzgang trotz Änderungen der Eigenschaften der Übertragungsleitung beibehält. Normalerweise wird gefordert, daß der Frequenzgang der Leitung für alle Frequenzen im Arbeitsband des Systems eine vorgegebene konstante Größe hat. 10

Einer der am häufigsten verwendeten einstellbaren Entzerrer ist der sogenannte Höckerentzerrer. Entzerrer dieser Art werden bei Koaxialsystemen vorgesehen und sind in der obenerwähnten Ausgabe der Zeitschrift »Bell System Technical Journal« (Seiten 889—952) beschrieben. 15

Im allgemeinen enthält ein Höckerentzerrer mehrere, unabhängig voneinander einstellbare, in Reihe geschaltete Entzerrernetzwerke oder -abschnitte. Im Idealfall ist der Frequenzgang jedes Abschnitts über das Arbeitsband des Systems eben und konstant, mit Ausnahme eines vorgegebenen, relativ engen Frequenzbereichs (welcher der effektive Bereich genannt wird), in dem die Größe des Frequenzgangs einstellbar ist. 20

Der Frequenzgang eines Entzerrerschnitts wird, soweit er einstellbar ist, durch eine einzige Steuergröße oder ein einziges Steuersignal vorgegeben. Jeder Entzerrerschnitt wird zur Einstellung des Entzerrerschnittfrequenzgangs in seinem effektiven Bereich benutzt. Durch die Verwendung mehrerer Abschnitte, deren effektive Bereiche über das Übertragungsband des Systems verteilt werden, kann jede durch die Übertragungsleitung in irgendeinem Bereich des Übertragungsbandes erzeugte Signalverzerrung durch Verstellung von einem oder mehreren Entzerrerschnitten, welche die Entzerrung in diesem Bereich des Übertragungsbandes beeinflussen, korrigiert werden. 25

Es sind bereits verschiedene Gerätetypen zum Messen der Gesamtsignalverzerrung und zum Erzeugen von Signalen für die Steuerung der verschiedenen Abschnitte eines Höckerentzerrers bekannt.

Die Entzerrersysteme, die in der obenerwähnten US-PS 35 73 667 beschrieben ist, arbeitet z. B. mit Hilfe der Annahme, daß sich die effektiven Bereiche der Entzerrerschnitte gegenseitig ausschließen und daß jeder Abschnitt abhängig vom Pegel eines einzigen Pilotsignals gesteuert werden kann, dessen Frequenz in dem effektiven Frequenzbereich dieses Abschnitts liegt. 30

Bei extrem breitbandigen Nachrichtensystemen, die mit sehr hohen Frequenzen arbeiten, ist es notwendig, eine wesentlich bessere Entzerrung zu realisieren, als sie mit den vorbeschriebenen Mitteln möglich ist. Insbesondere muß man in Rechnung stellen, daß der Frequenzgang jedes Entzerrerschnitts außerhalb des effektiven Bereichs dieses Abschnitts weder vollkommen eben noch konstant ist. Hieraus folgt, daß die Entzerrersysteme durch ein System von gleichzeitigen Beziehungen zwischen der Gesamtverzerrung und der Wirksamkeit jedes Entzerrerschnitts in jedem Teil des Arbeitsfrequenzbands bestimmt werden muß, um die Verzerrung zu vermindern. In einem realen System kann dies entweder dadurch erreicht werden, daß die Verzerrung bei verschiedenen Pilotfrequenzen auf die Wirksamkeit der Entzerrerschnitte bei diesen Frequenzen oder indem die Durchschnittsverzerrung in verschiedenen Frequenzbereichen auf die Wirksamkeit der Entzerrerschnitte gemittelt über diese Frequenzbereiche bezogen wird. Die letztgenannte Methode wird bevorzugt, weil sie zu einem geglätteten Frequenzgang des Gesamtsystems führt. 35

Man erkennt, daß die Wirksamkeit aller bisherigen Methoden und insbesondere der letztgenannten Methode davon abhängt, wie genau die Kenntnisse sind, die man von den Frequenzgangsfunktionen der verschiedenen Entzerrerschnitte hat. Probleme ergeben sich dadurch, daß diese Funktionen Änderungen unterworfen sind, wenn die Entzerrersysteme eingestellt werden, wenn sie altern oder wenn sich die Umweltbedingungen ändern usw. Sie ergeben sich ferner, weil es notwendig ist, daß genaue, auf den letzten Stand gebrachte Daten, welche den Frequenzgang jedes Entzerrerschnitts betreffen, verfügbar sein müssen, um den Entzerrerschnitt so einstellen zu können, daß er seinen Beitrag zur Gesamtsignalverzerrung kompensiert. 40

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einer automatischen Entzerrungseinrichtung der eingangs genannten Art das Entzerrungsverhalten dadurch zu verbessern, daß die gegenseitige Beeinflussung der Entzerrerschnitte bei ihrer Einstellung berücksichtigt wird und gleichzeitig Einflüsse durch Alterung und Änderung von Umweltbedingungen beseitigt werden. Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 gekennzeichneten Merkmale gelöst. 45

Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß die Entzerrung in breitbandigen, analogen Übertragungssystemen mittels einer einstellbaren Entzerrungssteuereinrichtung verbessert wird, welche die Frequenzgangsfunktionen der verschiedenen Abschnitte eines Höckerentzerrers bestimmt und diese Funktionen bei der Erzeugung von Signalen für die Einstellung des Entzerrers verwendet. Dabei spricht der Entzerrer auch auf Änderungen seiner eigenen Frequenzgangsfunktionen an, so daß ein stabiler einstellbarer Entzerrer geschaffen wird. 50

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsformen erläutert.

Es zeigt

Fig. 1 ein Blockschaltbild der einstellbaren Entzerrungseinrichtung gemäß der Erfindung; 55

Fig. 2 ein Blockschaltbild, in dem dargestellt ist, wie ein Teil der Regeleinrichtung nach Fig. 1 entsprechend den Prinzipien der Erfindung abgeändert werden kann;

Fig. 3 ein Blockschaltbild mit einer weiteren Abwandlung der Regeleinrichtung nach Fig. 1. 60

In der Fig. 1 sind die Anschlüsse 6 und 12 über ein analoges Breitbandübertragungssystem verbunden, das einen Koaxialkabelabschnitt 8 und einen einstellbaren Entzerrer 10 enthält. Indem die Übertragungs- oder Frequenzgangfunktionen dieser beiden Systemkomponenten mit $H(\omega)$ bezeichnet sind, liegt der Sinn der Entzerrung darin, einen gleichmäßig flachen Frequenzgang zwischen den Anschlüssen 6 und 12 zu gewährleisten, d. h. zu sichern, daß auf einer normierten Basis

$$|H(\omega)| \times |F(\omega)| \rightarrow 1 \quad (1)$$

für alle ω im Frequenzband des Systems.

Der Entzerrer 10, der so gebaut ist, wie es in der Entzerrertechnik üblich ist, enthält mehrere, getrennt einstellbare, in Serie geschaltete Entzerrerabschnitte 10-1 bis 10-n (z. B. Bode-Entzerrer oder solche Entzerrer, wie sie im erwähnten Aufsatz von Kelcourse et al. beschrieben sind). Die Entzerrerabschnitte 10-1 bis 10-n haben die Übertragungs- oder Frequenzgangfunktionen $F_1(\omega, P_1)$ bis $F_n(\omega, P_n)$, wobei P_1 bis P_n Signalgrößen sind, die zur Steuerung der Abschnitte 10-1 bis 10-n dienen.

Im allgemeinen können alle Frequenzgangfunktionen $F_\mu(\omega, P_\mu)$ durch eine normierte Frequenzgangfunktion $F_\mu(\omega)$ charakterisiert werden, die unabhängig von der entsprechenden Steuergröße P_μ ist. Jede normierte Frequenzgangfunktion $F_\mu(\omega)$ gibt somit genau die Form der entsprechenden Frequenzgangfunktion F_μ an, während die Regelgröße P_μ die Amplitude dieser Funktion bestimmt.

Wie oben schon kurz erwähnt, können die Entzerrerabschnitte 10-1 bis 10-n so gewählt werden, daß die Amplitude aller Frequenzgangfunktionen F_μ primär durch die entsprechende Steuersignalgröße P_μ einem vorgegebenen, relativ engen Frequenzbereich (das ist der sogenannte effektive Bereich des Entzerrerabschnitts) beeinflusst wird und außerhalb dieses Bereichs relativ konstant ist. Solche Entzerrerabschnitte haben einen charakteristischen höckerförmigen Frequenzgang; daher die Bezeichnung Höckerentzerrer für eine Vorrichtung, die aus verschiedenen solcher Abschnitte besteht.

Um der Gleichung (1) zu genügen, muß die Einrichtung gemäß Fig. 1 periodisch von den Anschlüssen 6 und 12 abgetrennt und der eigentlichen Aufgabe, d. h. der Entzerrung des Koaxialkabelabschnittes 8, freigestellt werden. Als Teil dieses Vorgangs gibt der Wobbel-Generator 14 ein Signal von vorgegebener, konstanter Amplitude und sich ändernder Frequenz ab, wobei sich die Frequenz monoton von einem Ende des Arbeitsfrequenzbandes zum anderen ändert. Wie unten noch ausführlicher beschrieben werden wird, können ein oder mehr Kippvorgänge des Wobbel-Generators beim Entzerrungsvorgang erforderlich sein. Zur Erleichterung der späteren Erläuterung wird angenommen, daß das Zeitintervall T für einen solchen Kippvorgang erforderlich ist sowie für die Berechnungen und Einstellungen, die hierauf folgen. Wenn das oben erwähnte Kippsignal auf die Leitung 8 gegeben wird, gibt der Fehlererkenner 16 mehrere Fehlersignale ε_1 bis ε_n ab, von denen jedes proportional zur Abweichung des Signalpegels am Anschluß 12 vom gewünschten Signalpegel V_R in jedem der n vorgegebenen Frequenzbereiche ist. Die Fehlersignale ε_1 bis ε_n zeigen deshalb die Signalverzerrung des Entzerrers 10 in jedem der vorgegebenen Frequenzbereiche an. Der Fehlererkenner 16 kann eine Vorrichtung sein, die in der Lage ist, zwei analoge Signalpegel zu vergleichen und das Ergebnis über n vorgegebene Intervalle zu integrieren. Ein Bezugssignal, das durch eine geeignete (nicht dargestellte) Signalquelle erzeugt wird und das einen Pegel hat, der geeignet ist, den erforderlichen Vergleich der Signalpegel durchzuführen, wird auf den Fehlererkenner 16 über den Anschluß V_R gegeben. Die Grenzen der erwähnten Integrationen können auf eine an sich bekannte Art bestimmt werden, z. B. indem die Integrationen mit der Betätigung des Wobbel-Generators 14 in Synchronismus gebracht werden. Ein Apparat für diese Zwecke ist bereits bekannt und wird hier nicht dargestellt, um die Zeichnung nicht unübersichtlich werden zu lassen. Die Fehlersignale ε_1 bis ε_n können selbstverständlich entweder analog oder digital sein, was davon abhängt, welche Art am vorteilhaftesten für die Weiterverarbeitung ist. Dies wird weiter unten noch einmal beschrieben. Zum besseren Verständnis wird angenommen, daß die Fehlersignale ε_1 bis ε_n auf einen Prozessor 20 in digitaler Form gegeben werden, z. B. als digitalcodierte Signalgrößen.

Analytisch ist jedes Fehlersignal ε_i bis ε_n durch eine Beziehung gemäß der Form

$$\varepsilon_i = x_i + \sum_{\mu=1}^n b_{i\mu} \rho_\mu \quad (2)$$

gegeben, wobei x_i die durch den Kabelabschnitt 8 verursachte Signalverzerrung ist, und zwar integriert oder gemittelt über den Frequenzbereich i ; $b_{i\mu}$ ist die normierte Frequenzgangfunktion F_μ des Entzerrerabschnitts μ , integriert oder gemittelt über den Frequenzbereich i und ρ_μ ist, wie oben definiert, die Größe, welche die Amplitude der Frequenzgangfunktion des Entzerrerabschnitts μ steuert. Im Gegensatz zur früheren Annahme einer gegenseitigen Ausschließung in den effektiven Bereichen der Entzerrerabschnitte drückt die Beziehung (2) den tatsächlichen Sachverhalt aus, nämlich den, daß jeder Entzerrerabschnitt μ das Fehlersignal in jedem Frequenzbereich i beeinflusst. Da angenommen wurde, daß hier so viele Größen ε zu steuernde Entzerrerabschnitte vorhanden sind (z. B. liegen sowohl i als auch μ zwischen 1 und n), ist das Gleichungssystem, das durch die Beziehung (2) dargestellt wird, eine Determinante und kann in Matrizenform wie folgt umschrieben werden:

$$[\varepsilon] = [x] + [B][\rho] \quad (3)$$

wobei $[\varepsilon]$, $[x]$ und $[\rho]$ Vektoren von ε_i , x_i und ρ_μ sind und $[B]$ eine n -zu- n -Matrix von $b_{i\mu}$ ist. Man erkennt leicht, daß dadurch, daß die Matrix B und der Vektor ρ durch die Charakteristiken und gegebenen Einstellungen der Entzerrerabschnitte 10-1 bis 10-n bekannt sind und die Elemente des Vektors ε auf die oben beschriebene

Weise gemessen wurden, die Beziehung (3) für den unbekannten Vektor x gelöst werden kann, d. h. für die durch den Kabelabschnitt 8 verursachte Signalverzerrung. Ist der Vektor x einmal bestimmt, so können neue Werte für den Vektor p gefunden werden, welche der Beziehung (3) genügen, wobei der Vektor ϵ zu null gesetzt wird, wie es notwendig ist, um das System zu entzerren.

In den Beziehungen (2) und (3) sind verschiedene Annahmen gemacht, welche die oben beschriebene Methode wiedergeben, die möglicherweise für sehr breitbandig arbeitende und/oder sehr hochfrequenten Übertragungssystemen unbefriedigend ist und bei der demzufolge die Entzerrung teilweise kritisch ist.

Es wird z. B. angenommen, daß die Form des Frequenzgangs jedes Entzerrerschnitts für alle Frequenzen im Arbeitsband durch eine normalisierte Funktion definiert werden kann, und zwar unabhängig vom Wert der entsprechenden Regelgröße p . Es wird weiterhin angenommen, daß diese normalisierte Funktion sich nicht mit der Zeit ändert. In Wirklichkeit muß sich natürlich die Matrix B eines gegebenen Entzerrers sowohl mit der Zeit als auch mit dem Ergebnis der Einstellung des Entzerrers ändern. Der Entzerrer nach Fig. 1 wird hierzu mit einer Regeleinrichtung ausgestattet, die gemäß den Prinzipien der Erfindung vorgesehen ist, wobei diese und andere Annahmen vermieden werden und die Entzerrung entsprechend verbessert wird.

In der Anordnung nach Fig. 1 wird der Entzerrer 10 vor und nach jedem Entzerrerschnitt 10-1 bis 10- n abgetastet, d. h. an den Punkten V_0 bis V_n . Wenn der Wobbel-Generator 14 ein Kippsignal auf die Leitung in der Nähe des Eingangsanschlusses 6 gibt, so erzeugen die Erkennen 22-0 bis 22- n Ausgangssignale, die proportional zu den Pegeln des übertragenen Signals sind, das an den Punkten V_0 bis V_n erscheint. Die Ausgangssignale jedes benachbarten Erkennerschnitts 22-0 bis 22- n werden in einem der Vergleiche 24-1 bis 24- n verglichen, um n Ausgangssignale zu erzeugen, die proportional zum Dämpfungs- oder Verstärkungseffekt, d. h. zum Frequenzgang, jedes der Entzerrerschnitte sind. Diese Vergleichsausgangssignale werden alle in einem jeweils zugeordneten Verstärker oder Vervielfacher 26-1 bis 26- n mit einer Größe multipliziert, die proportional zum Reziprokwert des gegenwärtigen Wertes der Regelgröße p für den entsprechenden Entzerrerschnitt ist. Dies ist in der Fig. 1 symbolisch angedeutet. Eine Einrichtung zum Invertieren von Signalen wie die Steuergröße p ist bereits bekannt. Diese ist deshalb nicht dargestellt, um die Fig. 1 nicht unübersichtlich zu machen.

Jedes Multipliziererausgangssignal stellt die normierte Frequenzgangsfunktion F_i des entsprechenden Entzerrerschnitts dar. Jedes dieser Signale wird durch einen der Integratoren 28-1 bis 28- n über jeweils einen der n Frequenzbereiche integriert, die den n Frequenzbereichen entsprechen, für welche die von dem Fehlererkennen 16 erzeugten Fehlersignale ϵ vorhanden sind. Alle Integratoren 28-1 bis 28- n erzeugen deshalb während jedes von dem Wobbel-Generator abgegebenen Kippsignals des Systemfrequenzbandes n separate Ausgangssignalgrößen. Die Integrationen, welche in jedem der Integratoren 28-1 bis 28- n stattfinden, können deshalb in einer Weise zeitlich eingeteilt werden, die der Zeiteinteilung der Integrationen entspricht, die gleichzeitig im Fehlerdetektor 16 vorgenommen werden. Da angenommen wurde, daß die Fehlersignale ϵ auf den Prozessor 20 in digitaler Form gegeben werden, liegen die Ausgangssignalgrößen der Integratoren 28-1 bis 28- n ebenfalls entweder in dieser Form vor oder sie werden in diese Form auf eine an sich bekannte Weise gebracht, bevor sie auf den Prozessor 20 gelangen. Die n mal n Größen, die so erzeugt werden, stellen die Matrix B der Beziehung (3) dar. Weil jedoch die Elemente dieser Matrix direkt von dem aktuellen und gegenwärtigen Effekt oder Antwortsignal jedes Entzerrerschnitts in jedem Frequenzbereich berechnet wird, ist diese Matrix weitgehend von schädlichen Effekten der oben diskutierten Annahme frei.

Sobald die Elemente der Matrix B erzeugt werden, werden sie im Prozessor 20 gespeichert. Wenn die Erzeugung der Matrix B beendet ist, löst der Prozessor 20 das Gleichungssystem auf, das durch die Beziehung (3) gegeben ist, um n neue Werte für die Regelgrößen p_1 — p_n zu erhalten. Dies kann im wesentlichen auf die oben beschriebene Weise geschehen, nämlich indem die Beziehung (3) für den Vektor x gelöst, alle Elemente des Vektors ϵ gleich null gesetzt und die Beziehung (3) wieder für den Vektor p gelöst wird. Als Prozessor 20 kann zu diesem Zweck jede geeignete digitale Datenverarbeitungsanlage gewählt werden.

Die n neuen Werte der Regelgrößen p_1 bis p_n werden auf die Entzerrersteuerungsquellen 30-1 bis 30- n gegeben, von denen jede ein für die Einstellung des entsprechenden Abschnitts des Entzerrers 10 geeignetes Signal erzeugt. Wenn z. B. Bode-Entzerrerschnitte im Entzerrer 10 vorgesehen sind, kann jede der Signalquellen 30 eine steuerbare Stromquelle sein, deren Ausgangssignal dazu dient, die Thermistor-Temperatur in dem entsprechenden Entzerrernetzwerk zu steuern. Ist der Prozessor 20 ein Digitalrechner, so können die Stromquellen 30-1 bis 30- n einfach digital steuerbare Stromquellen sein. Jede Stromquelle gibt einen Ausgangsstrom ab, der durch die zugeordnete, digital codierte Steuergröße p bestimmt ist. Jede der Stromquellen 30 kann ein Speicherregister zum Abspeichern eines gegebenen Wertes der zugeführten Steuergröße p enthalten, bis ein neuer Wert für diese Größe von dem Prozessor 20 abgegeben wird, der dabei die Stromquellen in die Lage versetzt, den erforderlichen Ausgangsstrom kontinuierlich abzugeben, wenn sie einmal in Gang gesetzt worden sind.

Theoretisch ist der bisher beschriebene Einstellvorgang in einem Schritt zwar ausreichend, doch kann er in einigen Anwendungsfällen keine perfekte Entzerrung bewirken. Dies kann z. B. von Änderungen in der Matrix B herrühren, die sich bei Einstellungen ergeben oder von der Nichtreproduzierbarkeit in der Steuerung der Entzerrerschnitte 10-1 bis 10- n etc. Dementsprechend können wiederholte Einstellvorgänge notwendig werden, um eine optimale Entzerrung zu bewirken, d. h. verschiedene aufeinanderfolgende Kippsignale vom Wobbel-Generator 14 können notwendig sein, um eine optimale Entzerrung zu erzeugen, wobei auf jedes Signal — wie oben beschrieben — die Wiedereinstellung der Entzerrerschnitte erfolgt.

Bei einigen Anwendungen kann die Kombination des Entzerrers 10 und des Steuerapparates möglicherweise instabil werden (z. B. als Ergebnis von Änderungen in der Matrix B beim Übergang von einer Einstellung zur nächsten) mit dem Ergebnis, daß jeder Versuch, das System — wie oben beschrieben — zu entzerren, eine Überkompensation des vorhandenen Fehlableichs verursacht und dabei die Entzerrung mehr verschlechtert

als verbessert wird. In einem solchen Fall wird durch die Wiederholung des vorangegangenen Verfahrens die Entzerrereinrichtung immer weiter aus dem Abgleich herausgeführt.

Um die Stabilität des Entzerrungssystems gemäß dieser Erfindung sicherzustellen, kann ein bestimmter Verstärkungsfaktor in jede Steuerungsschleife eingeführt werden, damit das System daran gehindert wird, den Entzerrer 10 in einem Schritt zu verstellen. Außerdem erhält man ein System minimaler Ordnung, indem man alle Fehlergrößen ε proportional einer linearen Kombination der Unterschiede zwischen Werten von ρ bei zwei aufeinanderfolgenden Einstellungen des Entzerrers 10 macht. Wenn somit der Einstellzyklus $m-1$ beendet ist (welcher während des Zeitraums $mT - T$ vorliegt), der dem Kippen $m-1$ entspricht, werden die Fehlergrößen ε auf die Steuergrößen ρ durch die folgende Gleichung bezogen:

$$[G]\varepsilon(mT - T) = [B(mT - T)][\Delta\rho(mT)] \quad (4)$$

worin $[G]$ eine Diagonalmatrix der Steuerschleifenverstärkungsfaktoren ist und $[\Delta\rho(mT)]$ einen Vektor der Unterschiede der Signale ρ zwischen den Einstellungen des Entzerrers 10 im Zeitintervall $mT - T$ und dem nächsten Zeitintervall mT darstellt, d. h.

$$[\Delta\rho(mT)] = [\rho(mT)] - [\rho(mT - T)] \quad (5)$$

In der Beziehung (4) ist die Matrix B als Funktion der Zeit ausgedrückt, um die Möglichkeit anzuzeigen, daß sie sich von einer Einstellung des Entzerrers 10 zur nächsten ändern kann. Die Lösungsbeziehung (4) für $[\Delta\rho(mT)]$ ergibt:

$$[\Delta\rho(mT)] = [G][B(mT - T)]^{-1}[\varepsilon(mT - T)] \quad (6)$$

Die Regelgrößen ρ , welche auf die Signalquellen 30 gegeben werden, können natürlich durch Aufsummieren aller früheren Werte von $\Delta\rho$ bestimmt werden, es gilt also:

$$[\rho(mT)] = \sum_{r=0}^n [\Delta\rho(rT)] + [\rho_0], \quad (7)$$

worin $[\rho_0]$ der Vektor der ersten Einstellungen der Signale ρ ist. Setzt man die Gleichung (6) in die Gleichung (7) ein, so ergibt sich:

$$[\rho(mT)] = [G] \sum_{r=0}^m [B(rT - T)]^{-1} [\varepsilon(rT - T)] + [\rho_0]. \quad (8)$$

Die Einrichtung in Fig. 1 kann entsprechend den Prinzipien der Erfindung so abgewandelt werden, wie es in Fig. 2 gezeigt ist, um die durch die Beziehung (8) ausgedrückte Steuerfunktion zu realisieren. Insbesondere wird der Prozessor 20 abgewandelt, damit er das Produkt der inversen Matrix $B(mT - T)$ mit dem Vektor $\varepsilon(mT - T)$ durch die diagonale Verstärkungsmatrix G bilden kann. Ist der Prozessor 20 ein gewöhnlicher Digitalrechner, so kann man das Programm leicht ändern, damit es die notwendigen Programmschritte enthält. Da außerdem die von dem Prozessor 20 erzeugten Größen jetzt inkrementelle Einstellungen sind, sind die Akkumulatoren 40-1 bis 40-n — wie in der Fig. 2 gezeigt — vorgesehen, um die Ausgangsgrößen des Prozessors 20 in aufeinanderfolgenden Einstellzyklen zu addieren und die Steuergrößen ρ_1 bis ρ_n entsprechend der Beziehung (7) zu erzeugen.

Wenn die Entzerrerschnitte 10-1 bis 10-n nicht schon selbst instabil sind, können stets ausreichend kleine Schleifenverstärkungen gefunden werden, damit die Stabilität des Gesamtsystems gewahrt bleibt. Geeignete Verstärkungsfaktoren können empirisch bestimmt werden. Wurde einmal ein befriedigender Satz von Schleifenverstärkungen gefunden, so werden sie in den Prozessor 20 der Fig. 2 als feste Matrix G eingegeben.

Die Differenzgleichung, welche das Gesamtsystem der Fig. 2 beschreibt, kann linearisiert werden, um die Stabilität weiter zu gewährleisten, falls die Beziehung (8) folgendermaßen umgeschrieben wird:

$$[\rho(mT)] = [G][B(mT - T)]^{-1} \sum_{r=0}^m [\varepsilon(rT - T)] + [\rho_0]. \quad (9)$$

Es ist festzuhalten, daß in der Gleichung (9) nur ε unter dem Summenzeichen erscheint. Demgemäß erfordert die Gleichung (9) nur die Summation der aufeinanderfolgenden Werte der Fehlersignale ε , nicht jedoch die der aufeinanderfolgenden Werte von $\Delta\rho$.

Bei einigen Anwendungen kann die größere Stabilität, die sich bei Verwendung der Gleichung (9) anstelle von Gleichung (8) ergibt, von Vorteil sein. Insbesondere ermöglicht es das Einsetzen der Gleichung (9), daß größere Steuerschleifenverstärkungsfaktoren verwendet werden können, was zur Folge hat, daß schon nach einer geringen Zahl von Einstellzyklen eine optimale Entzerrung erreicht werden kann.

Die Einrichtung gemäß Fig. 1 kann nach den Prinzipien dieser Erfindung so abgeändert werden, wie es in Fig. 3 dargestellt ist, damit die Gleichung (9) erfüllt wird. Der Prozessor 20 in Fig. 3 ist im wesentlichen mit dem Prozessor 20 von Fig. 2 identisch, wobei dieser Prozessor notwendig ist, um dieselben Vorgänge in jedem Fall

durchzuführen. In der in Fig. 3 gezeigten Einrichtung sind jedoch noch die Akkumulatoren 50-1 bis 50- n vorgesehen, um die Summationen durchzuführen, die in der Gleichung (9) angegeben sind, d. h. diese addieren die Größen ε , die durch den Fehlererkenner 16 in aufeinanderfolgenden Einstellzyklen erzeugt werden und geben mehrere gespeicherte Fehlersignale ab. Es ist ersichtlich, daß die Summationen, die von den Akkumulatoren 50-1 bis 50- n durchgeführt werden, denjenigen entsprechen, die von den Akkumulatoren 40-1 bis 40- n in der Einrichtung gemäß Fig. 2 durchgeführt werden, daß jedoch die sich ergebende Steueroperation linearisiert wird (wie es durch die Gleichung (9) angedeutet wird), und zwar mit den oben erwähnten, damit verbundenen Vorteilen.

Es sollte noch bemerkt werden, daß die notwendige Verarbeitung der Steuersignale entweder analog oder digital erfolgen kann. Wenn der Prozessor 20 als Digitalgerät ausgebildet ist, kann außerdem die Analog-Digitalumwandlung überall dort vorgenommen werden, wo es für die Verarbeitung der Signale, die auf den Prozessor gegeben werden sollen, von Vorteil ist.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

- Leerseite -

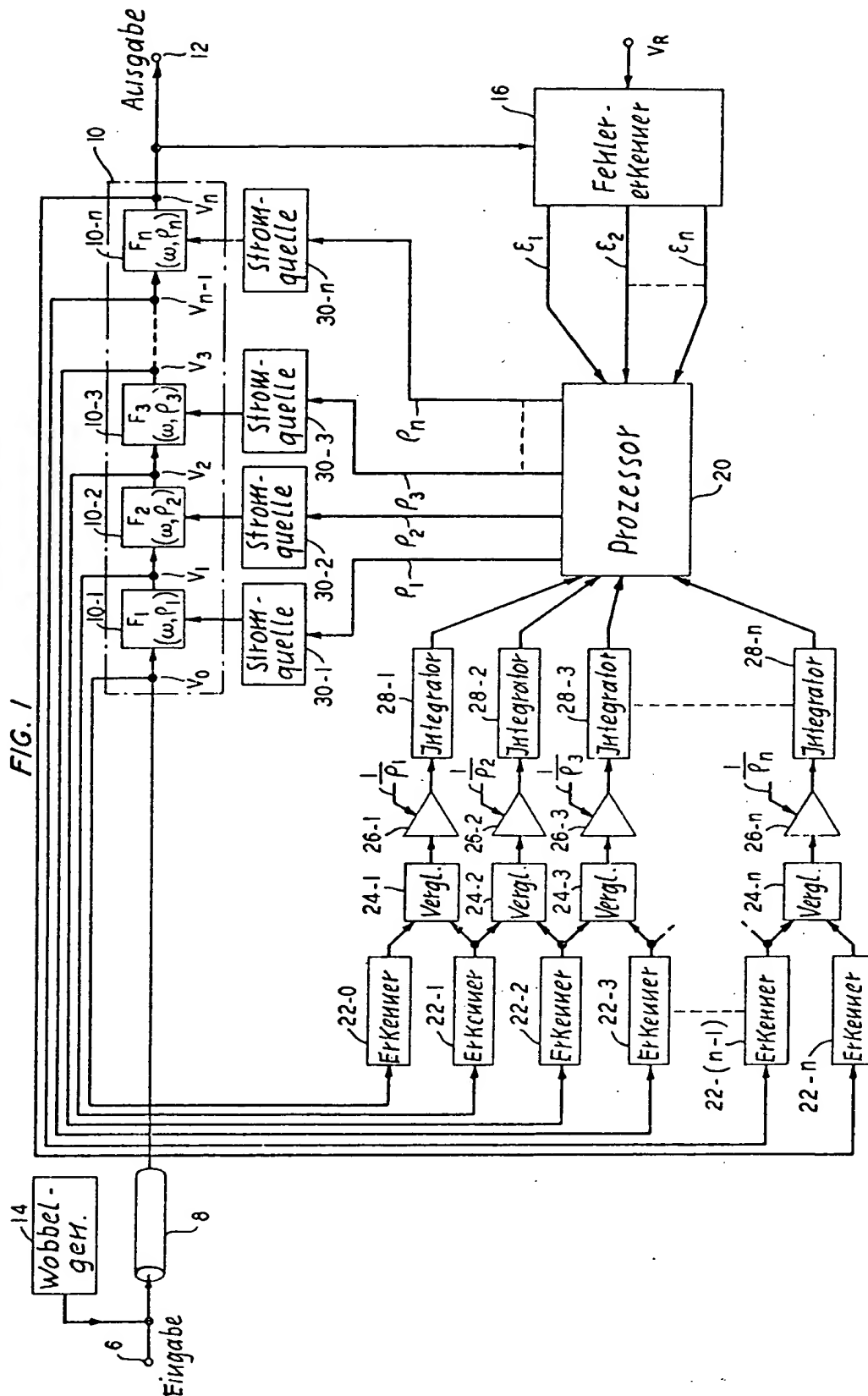


FIG. 2

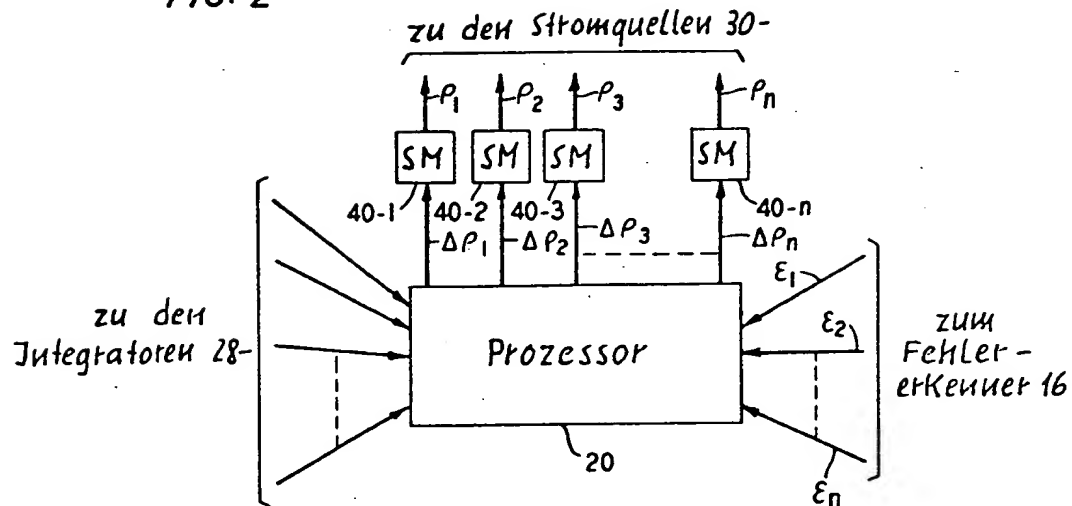


FIG. 3

